

EFECTO DE LA GALLINAZA SOBRE PROPIEDADES QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE UN SUELO DEL ESTADO MÉRIDA VENEZUELA

Effect of poultry manure on chemical and biological properties on soil a Mérida state Venezuela

Vergara, Yuleibiz¹; Contreras, Froilan¹; Zambrano, Alexis¹; Hernández, Eduylson¹; Bianchi, Guillermo¹; Machado, Daniel¹; Varela, Ricardo¹ y Salazar, Luis¹.

¹Universidad de Los Andes - Facultad de Ciencias. Laboratorio de Investigaciones en Análisis Químico, Industrial y Agropecuario (LIAQIA) Mérida, Venezuela.

²Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Laboratorio de Suelos. Mérida, Venezuela. * Correspondencia: fcontre2ula.veAnacelmira@ula.ve

Fecha de inicio de la investigación: enero de 2012

Fecha de culminación de la investigación: marzo de 2013

Resumen

Se estudiaron variables bioquímicas en un suelo del municipio Pueblo Llano donde se incorporó gallinaza como enmienda orgánica. Para ello, fueron evaluados parámetros químicos (pH, carbono orgánico total, disponibilidad de Ca, Mg, P y K) y biológicos (respiración microbiana a 20,2 y 16,7 °C; carbono biomásico) antes y después de la aplicación de la enmienda, lo que evidenció un incremento en la mayoría de las variables determinadas, exceptuando P y K que mostraron variabilidad, pero en general, se corroboró que la gallinaza constituye un factor de cambio en el sistema. La experiencia se llevó a cabo a través de un diseño en bloque aleatorizado. Al estudiar la influencia de la temperatura sobre la respiración microbiana se obtuvieron respuestas diferentes, lo que indica que estas variables no siempre aumentan simultáneamente, lo que sugiere que otros factores están interviniendo sobre la actividad biológica del suelo.

Palabras clave: biomasa microbiana, respiración microbiana, gallinaza, mineralización del carbono, suelo.

Abstract

Biochemical variables were studied in a soil of Pueblo Llano municipality where manure as organic amendment was incorporated. To do this, were evaluated chemical parameters (pH, total organic carbon, availability of Ca, Mg, P and K) and biological (microbial respiration to 20.2 and 16.7 °C; carbon biomass) before and after application of the amendment, which showed an increase in most of the identified variables except P and K showed variability, but overall, it was confirmed that the manure is a factor of change in the system. The experiment was carried out through a randomized block design. By studying

the influence of temperature on microbial respiration different responses, indicating that these variables do not always increase simultaneously, suggesting that other factors are intervening on soil biological activity.

Key words: microbial biomass, microbial respiration, poultry manure, mineralization of carbon, soil.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, se ha incrementado el interés por el uso de abonos orgánicos como alternativa de fertilización en algunos sistemas agrícolas, ya que estos constituyen una fuente microbiana importante que incrementa considerablemente el desarrollo de microorganismos benéficos, tanto para mineralizar la materia orgánica del suelo, como por el aumento del contenido de nutrientes del mismo, mejoramiento de la estructura del suelo, incremento de la absorción del agua, favorecen la aireación y oxigenación, entre otros (Fondo para la Protección del Agua, 2010). En este sentido, los abonos orgánicos tienen como ventaja la acción prolongada en las dosis adecuadas, pueden ser utilizados con frecuencia sin dejar secuelas en el suelo y proporcionan un gran ahorro económico.

En los Andes venezolanos se utilizan enmiendas orgánicas tales como: cachaza, estiércoles de gallina, vacuno, caprino, vermicompost y lodo de plantas depuradoras (Zambrano *et al.*, 2011). La gallinaza es un abono orgánico constituido por el estiércol de gallinas ponedoras que es comúnmente colectado en una cama de aserrín o cáscara de arroz. Se caracteriza por tener un alto contenido de nitrógeno (N) así como otros elementos en proporciones variables. Con dosis de aplicación adecuadas, constituye un valioso recurso fertilizante para el suelo, ya que proporciona un alto contenido de macro y micronutrientes para el crecimiento del cultivo y representa una alternativa ecológica de bajo costo (Gómez *et al.*, 2013).

En esta investigación se determinaron variables químicas y biológicas tales como: disponibilidad de nutrientes, pH, carbono orgánico (CO), respiración microbiana (RM) y carbono de la biomasa microbiana (CBM) con el propósito de evaluar el efecto de la incorporación de gallinaza sobre estas propiedades, en un suelo del municipio Pueblo Llano del estado Mérida.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en una parcela ubicada en el sector Lomas de Betijoque, municipio Pueblo Llano del estado Mérida, zona agrícola de 15.000 m², ubicada a 2600 msnm cuyas coordenadas geográficas se muestran en la figura 1. La parcela fue tratada con 12 toneladas de gallinaza (colectada sobre cáscaras de arroz), proveniente de una unidad de producción avícola del estado Carabobo. La parcela se observó detenidamente tomando en cuenta la diferencia de vegetación, color y pendiente, lo que condujo a dividirla en cuatro sectores denominados *Lote A*; *Lote B*; *Lote C* y *Lote D* (figura 1), cuyas características son: *Lote A*: superficie plana, ubicado en la zona más alta de la parcela, de color marrón oscuro y vegetación de gramíneas; *Lote B*, con una pendiente menor a 45°, suelo marrón oscuro y con menor densidad de gramíneas. *Lote D*: ubicado en la zona más baja de la parcela siendo plano en su totalidad, de color negro y vegetación compuesta de gramíneas

de mayor tamaño y densidad de plantas. *Lote C*: con pendiente mayor a 45°, colinda con los lotes antes señalados, vegetación escasa y color marrón claro.

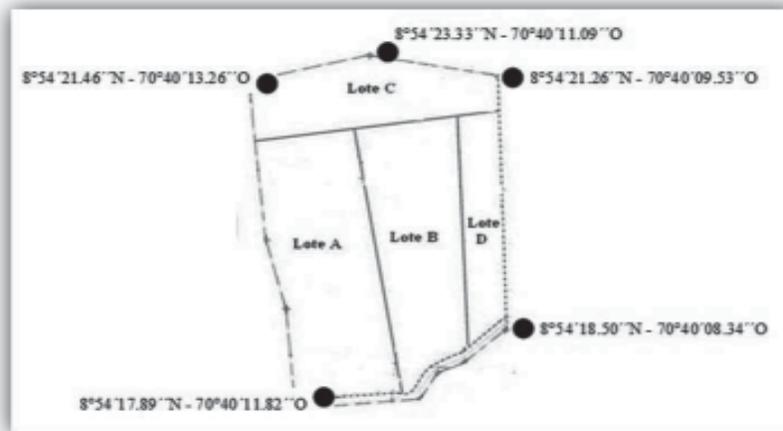


Figura 1. Plano de la parcela sectorizada de acuerdo a las diferencias de vegetación, color y pendiente.

El desarrollo experimental se dividió en tres etapas: toma de muestra, análisis de suelo y análisis estadístico como se especifica a continuación.

Toma de muestra: se tomaron muestras de forma sistemática usando como patrón irregular el zigzag en forma aleatoria (Vidal, 2002). Una vez elegido el sitio, se limpió la superficie de restos vegetales, se extrajeron las muestras haciendo un corte en forma de V (Rodríguez y Rodríguez, 2002). Las muestras individuales se mezclaron para formar una muestra compuesta para cada lote, éstas se colocaron en recipientes de plástico limpio y seco que fueron trasladados al laboratorio en una cava con hielo e inmediatamente se colocaron dentro de una nevera a 4 °C. Luego, se secaron las muestras a la sombra, se tamizaron a un tamaño de partícula de 2 mm para realizar las determinaciones pertinentes. Se hicieron dos muestreos: antes de la aplicación de gallinaza la parcela había estado en barbecho durante tres años y después de la incorporación de la enmienda, finalizando la cosecha del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*). Los testigos de cada lote, corresponden a las muestras antes de la aplicación de la enmienda.

Análisis de suelo: los análisis químicos y biológicos se realizaron tanto a la gallinaza como a las muestras de suelos de los lotes antes y después de la incorporación de la enmienda. El pH se determinó por técnica potenciométrica en una relación 1:2,5 (suelo:agua); los contenidos de calcio y magnesio se midieron mediante el método de Morgan modificado (López *et al.*, 1990) mientras que el fósforo y potasio se hallaron a través del método de Olsen y Watanabe modificado (1965). El carbono orgánico se determinó de acuerdo al método de Walkley y Black modificado (Simms

y Haby, 1971; Anderson e Ingram, 1993). Transcurridas 24 horas, se midió la absorbancia del ion Cr^{+3} a una longitud de onda de 600 nm en Espectrofotómetro UV-visible marca Thermo Scientific. Para la calibración se usó una curva patrón elaborada con glucosa. Para la determinación de la biomasa microbiana se utilizó el método de respiración inducida por sustrato (RIS) propuesto por Anderson y Domsch (1978). Colocando 10 g de material en envases de vidrio, se añadió una alícuota de una solución 60 mg/mL de sacarosa hasta que las muestras alcanzaron la capacidad de retención hídrica. Se introdujeron viales que contenían 20 mL de NaOH para absorber el CO_2 desprendido después de seis horas. Posteriormente por análisis volumétrico, se determinaron los miligramos de C- CO_2 , que se relacionaron estequiométricamente permitiendo obtener los valores de carbono biomásico presente en cada muestra. Por último, se determinó el desprendimiento de dióxido de carbono, de acuerdo al método descrito por Stotzky (1965). Se colocaron 50 g de material en un envase de vidrio, se suspendió dentro del envase un vial que contenía 20 mL NaOH, y luego se cerró el envase. Los viales fueron cambiados de acuerdo a la evolución del ensayo. Para realizar la cuantificación de C- CO_2 desprendido, se empleó el análisis volumétrico usando el $BaCl_2$ como precipitante de carbonatos y la fenoltaleína como indicador.

Análisis estadístico: Las variables determinadas en esta investigación fueron realizadas por triplicado empleando el programa estadístico Minitab 15 (2007). Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar, el método de análisis de varianza (ANOVA) utilizando un modelo lineal general con una probabilidad de 0,05 con prueba a posteriori de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El uso de gallinaza (G) en suelos podría modificar las variables bioquímicas del mismo. Por ello, se realizó la caracterización química y biológica de la enmienda cuyos resultados se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Características químicas y biológicas de la gallinaza.

Material	pH	% MO	% CO	Ca (ppm)	Mg (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	CBM (mg C/kg suelo)	RM (mg C- CO_2 /kg material.24 h)
Gallinaza	7,9	20,68	12	5629	2380	1589	7373	5463,37	812,69

Como se observa, las proporciones de los nutrientes evaluados en la gallinaza son muy diferentes entre sí y no mantienen una relación entre éstas, lo que indica que la dieta alimenticia y el sistema de alojamiento de las aves es diverso (Estrada, 2005), es decir, posiblemente enmienda usada proviene de diferentes granjas avícolas de la región. La enmienda usada presentó mayor proporción de Ken comparación con los otros nutrientes y el pH de la enmienda se clasifica como moderadamente alcalino.

Evaluación de propiedades químicas del suelo

Se realizó con la finalidad de conocer la disponibilidad de nutrientes y características del suelo antes (AE) y después (DE) de la aplicación de la enmienda. Para ello se hicieron determinaciones de pH, Ca, Mg, P y K cuyos resultados se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados del análisis fisicoquímico del suelo obtenidos antes y después de la aplicación de gallinaza.

Lote	pH		Ca (ppm)		Mg (ppm)		P (ppm)		K (ppm)	
	AE	DE	AE	DE	AE	DE	AE	DE	AE	DE
A	6,9	5,9	2154	2338	81	168	154	185	469	462
B	6,0	5,8	1050	2274	70	120	245	194	413	530
C	5,9	5,7	561	2185	69	98	209	160	473	375
D	6,0	6,1	1012	2402	75	111	148	166	456	621

Antes de incorporar la enmienda, el pH varió entre la clasificación medianamente ácido y neutro. Al comparar la respuesta obtenida antes y después de incorporar la gallinaza, no se observó diferencia significativa ($p > 0,05$) entre los valores obtenidos, lo que permite inferir que no hubo cambio de pH con la adición de la enmienda al suelo. Por otra parte, la disponibilidad de Ca y Mg aumentó para todos los lotes evaluados, debido a la incorporación de la enmienda que trae consigo una carga bastante alta de diferentes nutrientes (entre ellos Ca y Mg) que son aportados al suelo. En el caso de P y K, se observan respuestas diferentes luego de agregar la gallinaza; en la mayoría de los lotes disminuyó la disponibilidad de estos nutrientes, debido a la extracción realizada por el cultivo de papa. Al realizar el análisis estadístico, se observó que no existe una diferencia significativa ($p > 0,05$) entre la disponibilidad de éstos nutrientes antes y después de la incorporación de la enmienda, permitiendo afirmar que el aporte de P y K cubrió los requerimientos en el cultivo establecido en el suelo estudiado.

Determinación del carbono orgánico

Los resultados encontrados en esta investigación permiten asegurar que la aplicación de gallinaza en el suelo, modifica las variables bioquímicas del mismo. Estos cambios pueden deberse a diferentes factores, en el caso del descenso observado en el pH luego de la incorporación de la enmienda puede justificarse con la posible interacción entre el suelo y los ácidos débiles (grupos carboxílicos y fenólicos) presentes en la materia orgánica (Martínez *et al.*, 2008).

La cuantificación del carbono orgánico muestra un incremento después de la incorporación de la enmienda al suelo. Los resultados se muestran en la figura 2, donde se observa que AE presenta diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los valores obtenidos. Del mismo modo, después de la adición de gallinaza, el carbono orgánico en todos los lotes aumentó significativamente ($p < 0,05$). Esto evidencia que la incorporación de gallinaza tuvo un efecto positivo sobre el contenido de la MO en el

suelo, siendo el *Lote D*, donde hay mayor contenido de carbono orgánico. Esto puede atribuirse a su posición en la parcela, lo que hace que este reciba mayor cantidad de materiales y agua por efecto de escorrentía, teniendo por tanto mayor cantidad nutrientes disponibles en esté.

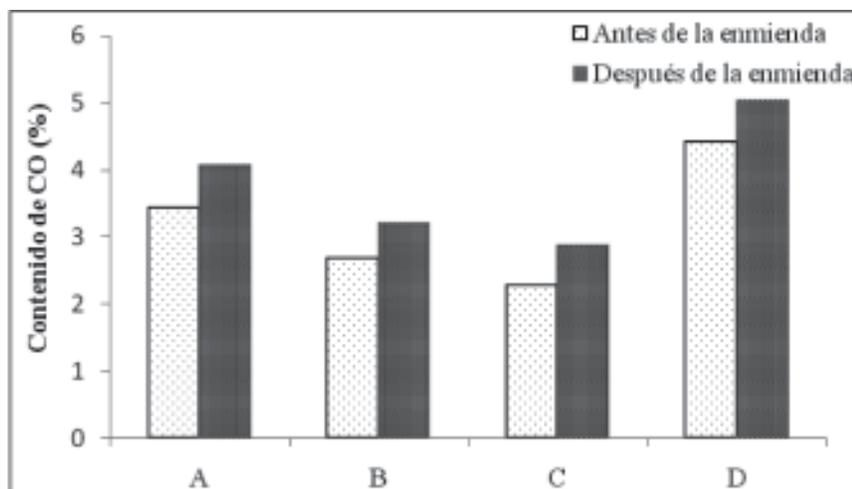


Figura 2. Contenido de carbono orgánico antes y después de la incorporación de gallinaza.

Estos resultados confirman que la adición de residuos orgánicos, incrementa el contenido de materia orgánica y por ende del carbono orgánico total (COT). De acuerdo a la literatura, la gallinaza en Venezuela está catalogada como uno de las enmiendas orgánicas que aporta al suelo mayor cantidad de carbono. Esto se evidenció en los resultados obtenidos, además coincide con lo observado por Steiner *et al.* (2008); Bahena *et al.* (2011) y Contreras *et al.* (2011) al incorporar gallinaza a diferentes tipos de suelos.

Determinación del carbono de la biomasa microbiana

Otra de las variables biológicas evaluadas fue el carbono de la biomasa microbiana, donde se ha conseguido un incremento entre tres y cuatro veces superior al valor inicial de esta variable, después de aplicar la gallinaza. En este sentido, Contreras *et al.* (2011) estudiaron un suelo de Bailadores (Mérida – Venezuela), fertilizado con enmiendas orgánicas y minerales concluyendo que la incorporación de gallinaza, aumenta el carbono de la biomasa microbiana del suelo tal como se observa en los resultados de esta investigación (figura 3).

En investigaciones similares, Mogollón *et al.* (2010) evaluaron un suelo sin intervención durante 10 años, ubicado en el estado Falcón (Venezuela), encontrando un valor de 510,5 mg C/kg suelo, el cual es superior al encontrado para el suelo evaluado antes de aplicar la enmienda. Por otra parte, Sarmiento y Bottner (2002)

en un suelo ubicado en el páramo de Gavidia (Mérida – Venezuela), pero con 15 años en descanso, el valor fue 604,3 mg C/kg suelo. Al comparar estos valores con el obtenido experimentalmente, se observa que existe diferencia, que podría atribuirse a una mayor acumulación de nutrientes potencialmente mineralizables con el transporte del tiempo.

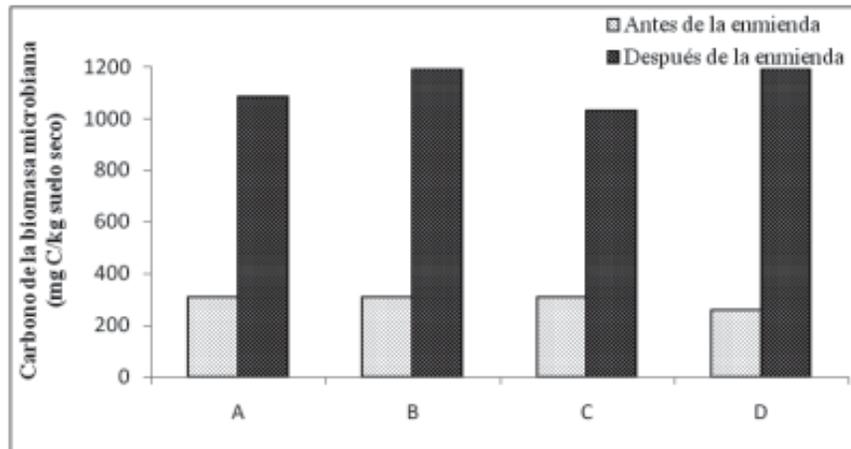


Figura 3. Contenido de carbono de la biomasa microbiana antes y después de la incorporación de gallinaza.

Antes de incorporarla enmienda, no se observó diferencia significativa entre los lotes evaluados ($p > 0,05$) por tanto, el carbonobiomásico presente en ellos fue similar, obteniéndose como valor promedio 296,36 mg C/kg suelo seco. Una vez agregada la gallinaza, se incrementó notablemente el carbono biomásico en todos los lotes, debido a que esta enmienda posee alto contenido del mismo, lo cual generó una nueva carga microbiana y fuente de carbono dentro del sistema, propiciando así, la estimulación del crecimiento de la microbiota. Los lotes enmendados no tuvieron diferencia significativa entre sí ($p > 0,05$) por lo que el C biomásico para ellos fue similar, cuyo valor promedio fue 1121,02 mg C/kg suelo seco.

Estadísticamente al comparar los valores obtenidos antes y después de la cosecha se observó diferencia significativa ($p < 0,05$) por lo que la incorporación de gallinaza sobre el suelo estudiado tuvo efecto sobre el carbono biomásico.

Determinación de la respiración microbiana

La respiración microbiana fue estimada a dos temperaturas: 20,2°C (temperatura promedio en el laboratorio) y 16,7°C (temperatura promedio del sector Lomas de Betijoque), los resultados se muestran en las figuras 4 y 5, respectivamente.

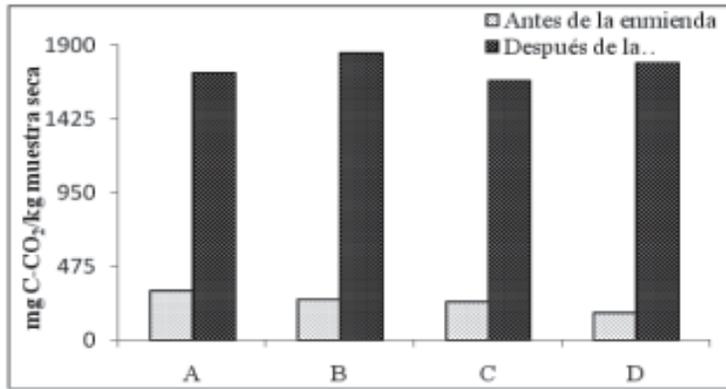


Figura 4. Concentración de carbono mineralizado como CO₂ para las muestras evaluadas a 20,2 °C.

Antes de la incorporación de la enmienda, los lotes mostraron diferencia significativa ($p < 0,05$) entre sí. Luego de enmendar, se observó un aumento en la respiración microbiana para todos los lotes, lo que está asociado con un mayor desprendimiento de CO₂ y por ende, mayor actividad microbiana. Cabe resaltar dos respuestas contrastantes observadas en las muestras: Lote C (menor respiración) y Lote D (mayor respiración), siendo este último lote quien recibe materiales por efecto de lavado debido a que se encuentra en la zona más baja de la parcela y por consiguiente, estaría recibiendo una cantidad de microorganismos mayor al resto de los lotes, propiciándose así, el incremento en la respiración microbiana.

Seguidamente, en la figura 5 se muestran los resultados de respiración microbiana obtenidos a 16,7 °C para los mismos lotes antes y después de la aplicación de gallinaza.

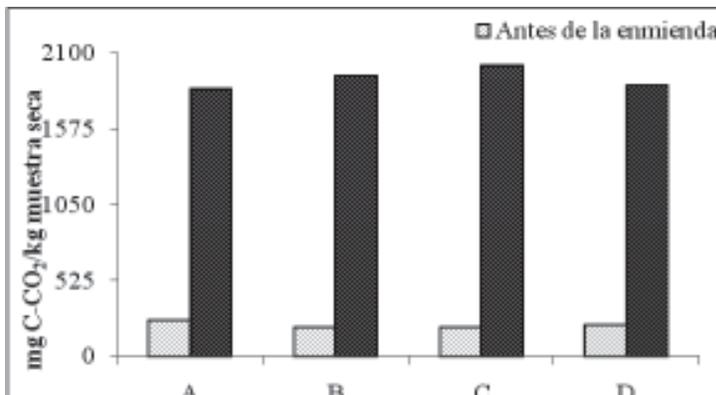


Figura 5. Concentración de carbono mineralizado como CO₂ para las muestras evaluadas a 16,7 °C.

Antes de la adición de gallinaza, no se observó diferencia significativa ($p > 0,05$) entre los lotes evaluados. Pero, al colocar la enmienda, se apreció un aumento de la respiración coincidiendo con lo encontrado a 20,2 °C; lo que permite decir que el desprendimiento de CO₂ incrementa independientemente de la temperatura de incubación. Luego de incorporar la enmienda, los lotes mostraron diferencia significativa ($p < 0,05$) entre sí a pesar de que se observaron valores de respiración similares entre los lotes B-C y A-D.

En general, para los lotes sin enmienda la respiración fue mayor a 20,2 °C mientras para suelos enmendados, la respiración fue mayor a 16,7 °C, lo indica que los microorganismos reaccionan diferente ante los estímulos ambientales, evidencia que define que el aumento de la respiración microbiana no siempre va conforme al incremento de la temperatura por lo que podrían estar influyendo otros factores.

Cinética de mineralización del carbono

Con el objetivo de conocer la velocidad de degradación del carbono así como evaluar el efecto que ejerce la temperatura y la adición de gallinaza sobre los lotes y mezclas estudiadas, se ajustaron las curvas del C-CO₂ acumulado a la función de doble exponencial descrita a continuación:

$$C_{\min} = C_1 (1 - e^{-k_1 t}) + C_2 (1 - e^{-k_2 t})$$

C_{min}: C-CO₂ liberado en un tiempo t

C₁: Fracción de C lábil

k₁: Constante de descomposición de la fracción lábil

C₂: Fracción de C recalcitrante

k₂: Constante de descomposición de la fracción recalcitrante

t: tiempo de vida media

Los resultados obtenidos se muestran en las figuras 5 y 6 para 20,2 °C y en la figura 7 y 8 para 16,7 °C. En general para las muestras estudiadas, se observó un aumento no lineal en la actividad respiratoria de los microorganismos a través del tiempo, similar a otros estudios realizados (Sarmiento y Bottner, 2002; Del Pino *et al.*, 2008; Toro, 2008; Contreras *et al.*, 2011; Martín *et al.*, 2012).

Cinética de mineralización del carbono a 20,2 °C

En todas las curvas se destaca una primera fase (creciente hasta los 50 días exceptuando el lote A) en donde la respiración fue más rápida y una segunda fase (donde disminuyó la respiración entre los 50 y 60 días) exceptuando el lote A. En la figura 6, se observan las curvas generadas por los lotes estudiados, donde los lotes B y C presentan curvas de mineralización del carbono similares con diferencias en las tres últimas lecturas. En general, los lotes evaluados presentaron diferencias entre ellos, arrojando valores totales de carbono mineralizado entre 177,74 y 317,62 mg de C-CO₂/kg de suelo seco, identificándose el lote D como el material más recalcitrante mientras el lote A fue el más fácilmente degradable.

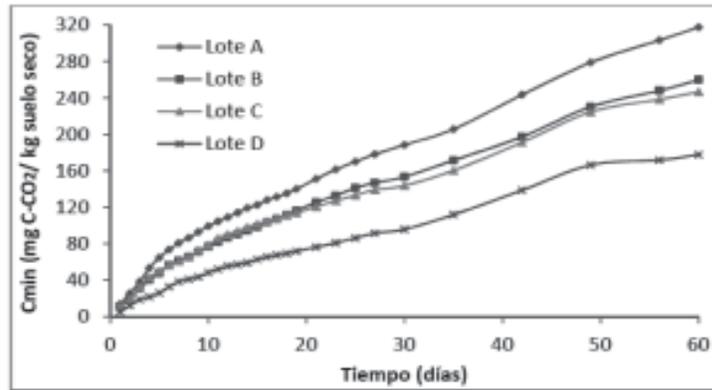


Figura 6. Carbono acumulado como CO₂ por los diferentes lotes en estudio a 20,2 °C

Por otra parte la dinámica seguida por las mezclas suelo-gallinaza a 20,2 °C son mostradas en la figura 7. Estas curvas siguen un patrón regular de aumento no lineal en la respiración microbiana a través del tiempo como la presencia de tres fases: crecimiento acelerado (hasta los 19 días), crecimiento moderado (19-30 días) y ligera estabilización (30-60 días). Las mezclas A y C no mostraron diferencias notables entre sí, de manera similar las mezclas B y D no difirieron, por lo cual los valores de las mezcla A y C, B y D son similares, respectivamente. Aun así, puede decirse que la mezcla C es la más recalcitrante mientras la mezcla B la más fácilmente degradable.

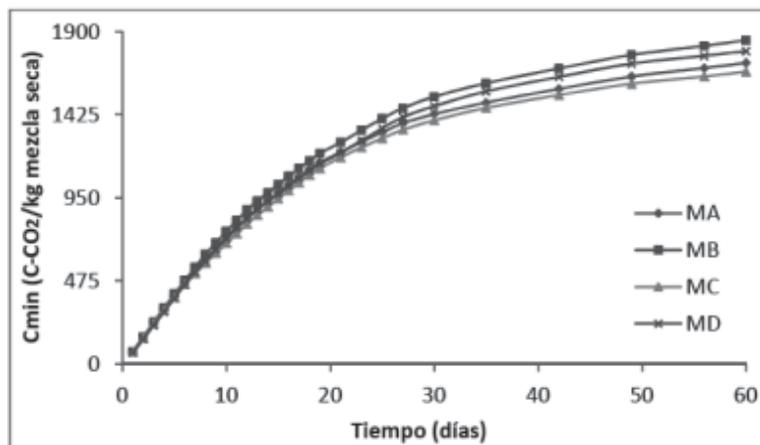


Figura 7. Carbono acumulado como CO₂ por las diferentes mezclas suelo-gallinaza estudiadas a 20,2 °C

Para las mezclas de suelo incubado con gallinaza a 20,2 °C, se observó en general una etapa inicial donde la producción de CO₂ fue importante, atribuible a la descomposición de los compuestos orgánicos de la enmienda fácilmente metabolizables por parte de los microorganismos del suelo pero, esta porción lábil de la gallinaza se agotó rápidamente (aproximadamente en la segunda semana) quedando un material orgánico más estable que se descompuso lentamente. Esto evidencia entonces, que cada uno de los lotes fue influenciado por la gallinaza, haciendo predominar su tendencia en la dinámica de mineralización. En general, la mineralización del carbono fue más rápida en las mezclas y en valor mucho mayor al obtenido para los lotes, como consecuencia de la adición de gallinaza sobre cada una de las muestras. Estos valores de respiración sugieren que la disponibilidad de carbono y energía para los microorganismos heterótrofos del suelo fue superior, debido al suministro abundante de materia orgánica y nitrógeno, lo cual favoreció la actividad de los microorganismos. Seguidamente en la tabla 3, se presentan los resultados obtenidos para la cinética de mineralización a 20,2 °C en los lotes y mezclas estudiadas con el modelo de doble exponencial. Este modelo, describió la mineralización del carbono suponiendo que este seguía una cinética de primer orden confirmando así, los resultados mostrados hasta ahora a 20,2 °C.

Tabla 3. Parámetros asociados al modelo de doble exponencial aplicado a 20,2 °C

Muestra	C ₁ (mg C-CO ₂ / g material)	C ₂ (mg C-CO ₂ / g material)	k ₁	k ₂	t ₁	t ₂	R ²
Lote A	7,60	2274,53	0,27630	0,00021	2,509	3278	0,9992
Lote B	144,17	4,87	0,00291	0,22410	238,3	3,093	0,9991
Lote C	6,05	9750,54	0,22680	3,601x10 ⁻⁵	3,056	19250	0,9968
Lote D	2,84	6927,70	0,29760	4,27x10 ⁻³	2,329	16247	0,9945
MA	105,01	94,13	0,05549	0,05548	12,49	12,49	0,9997
MB	124,34	83,76	0,05262	0,05262	13,17	13,17	0,9998
MC	42,06	145,71	0,05446	0,05445	12,73	12,73	0,9996
MD	58,82	152,00	0,05050	0,05049	13,72	13,73	0,9998
Gallinaza	81,17	113,99	0,05103	0,05103	13,58	13,58	0,9987

Los datos del C-CO₂ desprendido por los lotes y mezclas encontrados experimentalmente, se ajustaron apropiadamente al modelo utilizado (doble exponencial) ya que todos los coeficientes de determinación (R²) obtenidos fueron superiores a 0,995. En la tabla 3, se destaca que en la mayoría de los lotes evaluados, la fracción de carbono lábil (C1) estuvo en menor proporción pero con una alta constante de descomposición (k1) mientras la fracción de C recalcitrante (C2) estaba en mayor cantidad con una baja constante de descomposición (k2); dicho de otra forma, C1 < C2 y k1 > k2, esta tendencia también ha sido descrita recientemente por autores como Contreras *et al.* (2011) para un suelo de Bailadores, estado Mérida enmendado con gallinaza y Martín *et al.* (2012) para un suelo de España enmendado con estiércol de pollo de engorde. La única excepción fue el lote B, donde se observó una cinética de mineralización diferente (C1 > C2 y k1 < k2) similar a la encontrada por Sarmiento y Bottner (2002) para un suelo merideño en barbecho durante 15

años, Castellanos y León (2011) en un suelo colombiano no subsolado.

Por otra parte, las mezclas suelo-gallinaza tuvieron dos comportamientos: $C1 > C2$ y $k1 > k2$ para las mezclas A y B, esta cinética de mineralización coincide con la señalada por Castellanos y León (2011) para suelos colombianos subsolados y Martín *et al.* (2012) para suelos españoles con y sin enmienda de estiércol de pollo de engorde y/o gallinaza; $C1 < C2$ y $k1 > k2$ para las mezclas C y D, tal como se indicó para los lotes A, B y D. En general, la obtención de $k1 > k2$ sugiere que la enmienda orgánica ya había pasado a formar parte del suelo proporcionándole mayor cantidad de nutrientes y materia orgánica tal como se evidenció en la evaluación de las variables químicas.

Cinética de mineralización del carbono a 16,7 °C

Como se señaló anteriormente, la cinética de mineralización del carbono también fue evaluada a la temperatura del sector estudiado (16,7 °C), obteniendo los resultados que se ven reflejados en las figuras 8 y 9. En la figura 8, se observa la dinámica de mineralización adoptada por los lotes, donde B y C mostraron curvas de carbono mineralizado similares. De este modo, estos lotes se consideraron como los más recalcitrantes, mientras el lote A fue el material más fácilmente degradable.

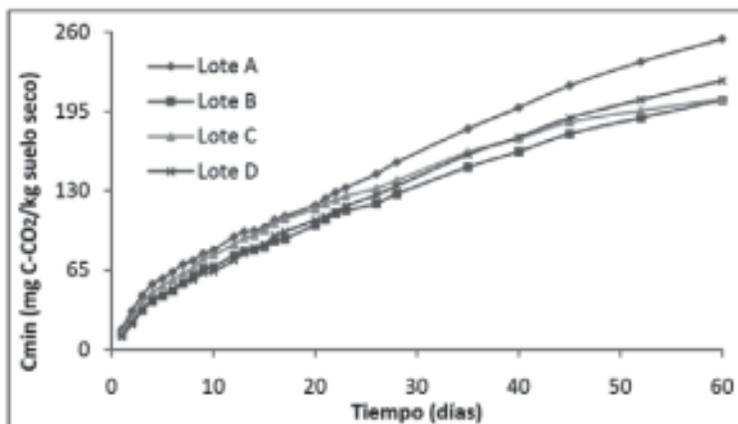


Figura 8. Carbono acumulado como CO₂ por los diferentes lotes en estudio a 16,7 °C.

En los lotes evaluados a 16,7 °C, la primera fase se observó en los primeros cinco días, posteriormente continuó el crecimiento microbiano de forma moderada hasta 52 días de ensayo, puesto que el lote C a partir del día 40 inició una ligera estabilización del carbono. Estas observaciones se diferencian totalmente de las realizadas a 20,2 °C donde la mineralización fue más rápida para los lotes A, B y C.

En el caso de las mezclas suelo-gallinaza (figura 9) generaron una cinética de mineralización muy similares para las mezclas A y D pues no mostraron diferencias

significativas ($p > 0,05$) entre sí, siendo éstas dos mezclas, las muestras más recalcitrantes en comparación a la mezcla C, que fue fácilmente degradable. Al igual que a $20,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, las mezclas se vieron regidas por la dinámica ejercida por la gallinaza con la diferencia que a $16,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ se observó de forma más marcada la estabilización del proceso de mineralización del carbono.

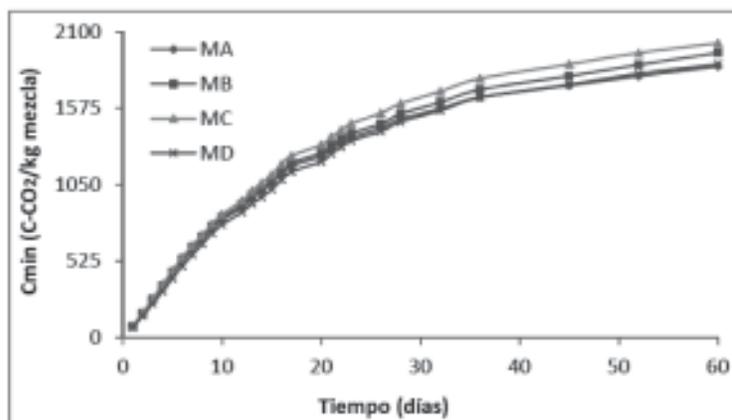


Figura 9. C acumulado como CO_2 por las diferentes mezclas suelo-gallinaza estudiadas a $16,7\text{ }^{\circ}\text{C}$

Cabe destacar que las mezclas estudiadas (figura 9) arrojaron valores de carbono mineralizado mayor a los obtenidos para los lotes (figura 8) debido a la incorporación de gallinaza que ejerció efecto sobre la dinámica de estas muestras, incrementando la mineralización y rigiendo el patrón de las curvas obtenidas.

Finalmente, los lotes evaluados mineralizaron el carbono de manera más rápida a $16,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, coincidiendo con lo señalado en la literatura. Por otra parte, las mezclas a $16,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ mineralizaron más rápido lo cual pudo deberse a que los microorganismos presentes en el suelo y en la gallinaza lograron adaptarse a esa temperatura.

A continuación se muestran los parámetros cinéticos obtenidos para la mineralización del carbono a $16,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ para los lotes y mezclas (tabla 4).

Tabla 4. Parámetros asociados al modelo de doble exponencial aplicado a 16,7 °C

Muestra	C ₁ (mg C-CO ₂ / kg material)	C ₂ (mg C-CO ₂ / kg material)	k ₁	k ₂	t ₁	t ₂	R ²
Lote A	5,62	69,42	0,6528	0,0071	1,06	97,10	0,9989
Lote B	3,39	39,34	0,3921	0,0110	1,77	63,29	0,9990
Lote C	3,79	25,77	0,5082	0,0219	1,36	31,65	0,9990
Lote D	67,63	3,78	0,0068	0,5307	101,70	1,31	0,9988
MA	196,28	331,92	0,0606	0,0008	11,45	823,5	0,9995
MB	147,84	94,68	0,0698	0,0188	9,93	36,86	0,9995
MC	208,94	125,90	0,0565	0,0023	12,27	308,5	0,9995
MD	202,32	105,81	0,0547	0,0025	12,67	282,2	0,9994
Gallinaza	183,13	219,71	0,0491	0,0007	14,13	1007	0,9996

De acuerdo a los resultados presentados en la tabla 4, en la mayoría de los lotes evaluados, la fracción de carbono lábil estuvo en menor proporción pero con una alta constante de descomposición mientras la fracción de carbono recalcitrante estaba en mayor cantidad con una baja constante de descomposición, es decir, $C_1 < C_2$ y $k_1 > k_2$, esta tendencia también fue observada a temperatura de laboratorio pero para los lotes A, C y D. En el caso del lote D a 16,7 °C, la cinética de mineralización fue diferente ($C_1 > C_2$ y $k_1 < k_2$), similar a la encontrada para el lote B a temperatura de laboratorio. Las mezclas suelo gallinaza tuvieron dos comportamientos al igual que a 20,2 °C: $C_1 > C_2$ y $k_1 > k_2$ para las mezclas B, C y D; mientras para la mezcla A, $C_1 < C_2$ y $k_1 > k_2$.

Tanto para los lotes como para las mezclas analizadas a esta temperatura, los resultados obtenidos se ajustaron apropiadamente al modelo de doble exponencial lo cual se reflejó en los coeficientes de determinación (R²) que fueron superiores a 0,995. A esta temperatura también se observó que la $k_1 > k_2$ permitiendo decir que la gallinaza ya formaba parte del suelo y que este comportamiento no depende de la temperatura a la que se realice la determinación.

DISCUSIÓN

En esta investigación se observa que en las variables biológicas, se presentan incrementos más contrastantes que para las variables químicas evaluadas luego de la aplicación de gallinaza.

El estudio de respiración microbiana, permitió observar incremento de esta variable luego de la aplicación de gallinaza, tanto a 20,2 °C como a 16,7 °C. Esta respuesta, coincide con lo indicado por Del Pino *et al.* (2008); Steiner *et al.* (2008); Contreras *et al.* (2011); Martín *et al.* (2012) quienes estudiaron suelos de diferente ubicación enmendados con gallinaza. Pero, al comparar los resultados obtenidos a 20,2 y 16,7 °C, se encontró que el aumento de la respiración microbiana no va conforme al incremento de la temperatura tal como se ha indicado en otras investigaciones. Giardina y Ryan, (2000) atribuyen este comportamiento al hecho que los microorganismos responsables del proceso de descomposición del carbono orgánico sobreviven con un suministro de sustrato que es sub-óptimo para el crecimiento, el cual depende del contenido de arcilla en el suelo y la humedad

disponible. Davidson y Janssens (2006) indicaron que la sensibilidad de la temperatura con respecto a la descomposición del carbono podría atribuirse a que los compuestos orgánicos están físicamente protegidos en el interior de los agregados del suelo o adsorbidos sobre la superficie de los minerales donde la acción de los microorganismos es limitada para la descomposición del carbono. Además, los autores señalan como factores que controlan el desprendimiento de CO₂, el contenido de agua y oxígeno, la calidad del sustrato, enzimas e inhibidores. Por su parte, Murcia y Ochoa (2008) concluyeron que la tasa de respiración promedio anual es mayor en la noche (menor temperatura) debido a que se incrementaron las horas de brillo solar sobre el suelo generando así, los mayores valores de respiración. Ikkonen *et al.* (2012) destacan que bajo estrés de temperatura, la velocidad de producción de CO₂ se hace más dependiente de la humedad del suelo lo que podría explicar la diferencia encontrada a las dos temperaturas evaluadas en esta investigación.

En investigaciones similares, González y Gudiño (2007) consiguieron para suelos cafetaleros del estado Trujillo entre 434 y 730 mg C-CO₂ acumulado/kg suelo por un periodo de incubación de 28 días; por otra parte, Contreras *et al.* (2011) en suelos de Bailadores, estado Mérida indican que luego de cuatro semanas de incubación la concentración de C mineralizado fue 180 mg C-CO₂/kg suelo, mientras que después de aplicar gallinaza como enmienda orgánica, encontraron 1650 mg C-CO₂/kg suelo. Estos valores concuerdan con los encontrados experimentalmente, permitiendo decir que el uso de gallinaza en los suelos de los Andes venezolanos podría generar cantidades de C-CO₂ similares entre sí.

Aguilera *et al.* (2010) evaluaron un suelo ubicado en una comunidad de Bolivia observando que bajo barbecho el C mineralizado correspondió a 1561 mg C-CO₂/kg suelo mientras, al cultivar el mismo suelo se incrementó la cantidad a 2087 mg C-CO₂/kg suelo. Estos valores no concuerdan con los encontrados para los lotes con y sin enmienda evaluados a 20,2 y 16,7 °C pero, coincide con el hecho de que al aplicar fertilizante y/o enmiendas, la respiración microbiana aumenta.

Cabe señalar, que el tratamiento realizado en el suelo de Lomas de Betijoque desde hace años, constituye principalmente la incorporación de gallinaza para el cultivo de papa y zanahoria. En este sentido, es probable que el carbono disponible (medido mediante el desprendimiento de CO₂) en el suelo proceda de la descomposición de fracciones orgánicas insolubles del estiércol o de la materia orgánica del suelo nativo, como resultado de un efecto acumulativo de la enmienda en el suelo, lo que produce a menudo un aumento de la actividad microbiana, debido a que hay mayor disponibilidad de la energía liberada del proceso de descomposición (Martín *et al.*, 2012).

CONCLUSIONES

La aplicación de gallinaza en el suelo generó cambios en sus propiedades químicas y biológicas tales como: aumento en el contenido de Ca y Mg disponible, carbono biomásico y respiración microbiana, observaciones atribuibles a que la enmienda aporta al suelo cantidades altas de nutrientes y una nueva carga microbiana quienes contribuyen al mejoramiento de la biomasa microbiana.

Cabe destacar que el carbono biomásico obtenido para los lotes sin enmienda fue similar, permitiendo inferir que el contenido en toda la parcela es

equivalente. Luego de la adición la gallinaza, esta variable aumentó, favoreciendo así, la fracción activa de la materia orgánica donde se propicia el crecimiento de la población microbiana y por ende, la descomposición de la misma.

En la cinética de mineralización del carbono, los lotes siguieron dinámicas diferentes a las temperaturas evaluados (20,2 y 16,7 °C) observándose tendencias no lineales con una etapa inicial donde la producción de CO₂ fue importante y atribuible a la descomposición de los compuestos orgánicos de la enmienda que son fácilmente metabolizables por parte de los microorganismos del suelo. Posteriormente, la porción lábil de la gallinaza se agotó a los 19 días quedando un material orgánico que se descompone lentamente.

El estudio de respiración microbiana realizado a 20,2 y 16,7 °C, mostró respuestas diferentes a pesar de haber evaluado la misma parcela antes y después de la incorporación de gallinaza. Esta tendencia es indicativo de que los microorganismos reaccionan de forma distinta ante los estímulos ambientales. De acuerdo a los resultados obtenidos, la evolución de CO₂ no siempre aumenta conforme se incrementa la temperatura, lo que puede deberse a factores que influyen sobre la descomposición del carbono orgánico y por ende, en la mineralización de este.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar el más sincero agradecimiento al CDCHTA-ULA por su aporte con el proyecto C-1729-11-08-B.

REFERENCIAS

- Aguilera, J. (2010). Impacts of soil management practices on soil fertility in potato-based cropping systems in the bolivianandean highlands. Tesis Doctoral. Universidad de Missouri. Columbia, USA. 255 pp.
- Anderson, J. y Domsch, K. (1978). A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 10: 215-221.
- Anderson, J. y Ingram, J. (1993). *Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods*. 2nd. Ed. CAB International. United Kingdom. 62 pp.
- Bahena, M.; Guadarrama, R. y Acosta, C. (2011). Efecto de la "gallinaza" en las propiedades físicas y químicas de dos unidades edáficas. *Investigación Agropecuaria*. 8(2): 138-170.
- Castellanos, J.; LEÓN, J. 2011. Descomposición de hojarasca y liberación de nutrientes en plantaciones de *Acacia mangium* (Mimosaceae) establecidas en suelos degradados de Colombia. *Revista de Biología Tropical*. 59(1): 113-128.
- Contreras, F.; Rivero, C. y Paolini, J. (2011). *Estudio de Actividades Enzimáticas en Suelos de los Andes Venezolanos*. Editorial Académica Española. Alemania. 144 pp.

- Davidson, E. y Janssens, I. (2006). Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature*. 440: 165-173.
- Del pino, A.; Repetto, C.; Mori, C. y Perdomo, C. (2008). Patrones de descomposición de estiércoles en el suelo. *TERRA Latinoamericana*. 26(1): 43-52.
- Estrada, M. (2005). Manejo y procesamiento de la gallinaza. *Revista Lasallista de Investigación*. 2(1): 43-48.
- Fondo para la Protección del Agua. (2010). Abonos orgánicos, protegen el suelo y garantizan alimentación sana. Manual para elaborar y aplicar abonos y plaguicidas orgánicos. pp. 4-6.
- Giardina, C. y Ryan, M. (2000). Evidence that decomposition rates of organic carbon in mineral soil do not vary with temperature. *Nature*. 404: 858-861.
- Gómez, M.; Fernández, M.; Domínguez, J. y Insam, H. (2013). Animal Manures: Recycling and Management Technologies. En: Darko, M. *Biomass Now - Cultivation and Utilization*. InTech. 237 pp.
- González, L. y Gudiño, C. (2007). Mineralización del carbono en suelos cafetaleros de la microcuenca del Río Monaquito, municipio Pampám, estado Trujillo. Tesis Pregrado. Universidad de los Andes. Trujillo, Venezuela. 122 pp.
- Ikkonen, G.; García, N.; Stephan, E.; Fuentes, E.; Ibáñez, A.; Martínez, A. y Krasilnikov, P. (2012). CO₂ production in anthropogenic Chinampassoils in Mexico City. *Spanish Journal of Soil Science*. 2(2): 62-73.
- López, I.; Gilabert, J. y Pérez, R. (1990). Análisis de suelo para diagnóstico de fertilidad. Manual de metodología y procedimientos de referencia. Ministerio de Agricultura y Cría. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 89 pp.
- Martín, J.; Miralles, R.; Calvo, R.; García, M.; León, C. y Delgado, M. (2012). Carbon mineralisation kinetics of poultry manure in two soils. *Soil Research*, 50: 222-228.
- Martínez, E.; Fuentes, J. y Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 8 (1): 68-96.
- Minitab Statistical Software. (2007). Versión 15.1.20.0.
- Mogollón, J.; Torres, D. y Martínez, A. (2010). Cambios en algunas propiedades biológicas del suelo según el uso de la tierra en el sector El Cebollal, estado Falcón, Venezuela. *Bioagro*, 22(3): 217-222.
- Murcia, M. y Ochoa, P. (2008). Respiración del suelo en una comunidad sucesional de pastizal del bosque alto andino en la cuenca del río Pamplonita, Colombia. *Caldasia*. 30(2): 337-353.

- Olsen, S. y Watanabe, F. (1965). Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO_3 extracts from soils. *Soil Science Society of America Journal*, 29: 677-678.
- Rodríguez, H. y Rodríguez, J. (2002). Métodos de análisis de suelos y plantas. Criterios de interpretación. Editorial Trillas. México. 196 pp.
- Sarmiento, L. y Bottner, P. (2002). Carbon and nitrogen dynamics in two soils with different fallow times in the high tropical Andes: indications for fertility restoration. *Applied Soil Ecology*. 19: 79–89.
- Simms, J. y Haby, V. (1971). Simplified colorimetric determination of soil organic matter. *Soil Science*. 112: 137-141.
- Steiner, C.; Rodrigues, M.; Teixeira, W. y Zech, W. (2008). Soil respiration curves as soil fertility indicators in perennial central Amazonian plantation treated with charcoal, and mineral or organic fertilisers. *Tropical Science*. 47(4): 218-230.
- Stotzky, G. (1965). Microbial respiration. En: Black, C.; Evans, D.; White, J.; Ensminger, I.; Clark, F. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy 9. American Society of Agronomy. Madison, USA.* pp. 1550-1572.
- Toro, J. 2008. Efecto del suministro de gallinazo sobre el proceso de nitrificación en suelos agrícolas de los páramos de Mérida. Tesis Pregrado. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias. Mérida, Venezuela. 103 p.
- Vidal, M. (2002). Toma de muestra. En: Cámara, C. *Toma y tratamiento de muestras.* Editorial Síntesis. Madrid, España. pp: 92-116.
- Zambrano, A.; Rivero, C. y Paolini, J. (2011). Caracterización química de enmiendas orgánicas. Editorial Académica Española. Alemania. 143 pp.